

# Гіпотези. Дискусії. Рецензії

УДК 551.3

## ПРОБЛЕМИ ФОРМУВАННЯ ГРАНІТНОГО ШАРУ ПЛАНЕТИ (МАСОВОГО ГРАНІТОУТВОРЕННЯ) У СВІТЛІ СЕЙСМОТОМОГРАФІЧНИХ ДАНИХ

**В.В. Шевчук**

*(Рекомендовано д-ром геол.-мінерал. наук С.Г. Кривдіком)*

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка, ННІ «Інститут геології», Київ, Україна,  
E-mail: svgeol@yandex.ua*

*Доктор геолого-мінералогічних наук, професор, професор кафедри загальної та історичної геології.*

Комплексна проблема формування гранітного шару Землі певним чином відображає глобальну еволюцію планети, її речовинну диференціацію, формування ядра, літосфери та зовнішніх оболонок. Усе більш досконалі сейсмотомографічні дослідження, які суттєво конкретизують будову глибинних геосфер та візуалізують зв'язки між ними, дають нові імпульси для пошуків нових вирішень ряду давніх проблем, зокрема «проблеми гранітів». Аналіз еволюції уявлень про гранітоутворення та формування гранітного шару, що формувались як у рамках геосинклінально-платформної, так і плитотектонічної концепцій, на новій сейсмотомографічній основі дозволяє виділення двох відносно незалежних різнорівневих флюїдно-магматичних систем: базальтоїдної (тектоносферної) і гранітоїдної (наскрізномантіїно-тектоносферної) та запропонувати схему-модель формування і розвитку значною мірою гіпотетичної гранітоїдної флюїдно-магматичної системи. Модель передбачає формування на межі «ядро – мантія» критичних за масштабами і тисками термофлюїдних скупчень із стійкою кремній-лужною хімічною спеціалізацією – результатом диференціації у рідкому середовищі та послідовне їх проникнення до верхніх рівнів планети, де в силу відповідних  $p, t$ -умов можливе формування кварц-польовошпатових мінеральних асоціацій (гранітоутворення). Ареали гранітоутворення на верхньокоровому рівні визначаються не окремими тектонічними режимами чи геодинамічними обстановками, а масштабами глибинних термофлюїдних аномалій, які опосередковано пов'язані із формуванням тектоносферних базальтоїдних флюїдно-магматичних систем і трансформуються коровими структурами. Гранітоутворення здійснюється шляхом взаємодії гранітизуючих флюїдів із базальтоїдними розплавами різних рівнів зародження та з твердим верхньокоровим субстратом різного віку та походження. Таким чином формуються метаматматичні, гібридні, строкаті за складом, з переважанням порфіроподібних, часом рапаківіподібних граніти, тіла яких несуть ознаки алохтонного залягання, та автохтонні палінгенно-метасоматичні мігматити і гранітоїди, становлення яких супроводжується специфічним коровим тектогенезом. Дискретні процеси масового гранітоутворення можуть частково збігатися із тектоносферними базальтоїдними флюїдно-магматичними системами, які мають переважно перманентний розвиток.

*Ключові слова:* гранітоутворення, тектоносфера, сейсмотомографія, флюїдно-магматичні системи.

## PROBLEMS OF THE EARTH GRANITE LAYER FORMATION (MASS GRANITE FORMATION) BASED ON SEISMIC TOMOGRAPHY

**V.V. Shevchuk**

*(Recommended by doctor geological-mineralogical sciences S.G. Kryvdik)*

*Taras Shevchenko National University of Kyiv, Institute of Geology, Kyiv, Ukraine, E-mail: svgeol@yandex.ua  
Doctor of geological-mineralogical sciences, professor, professor of Department of General and Historical Geology.*

Complex problem of granite layer formation of the Earth reflects some extent global evolution of the planet, its substantial differentiation, formation of core, lithosphere and outer shells. Increasingly perfect seismotomographic investigations essentially concretizing structure of deep geospheres and visualizing connections between it, give new impulses for search of new solutions for a range of age-old challenges, in particular “challenge of granites”. Evolution analysis of ideas about granite deposits and formation of granite layer, which was formed both within geosynclinal platform and plate tectonic concepts on a new seismotomographic basis allows to distinguish two

© В.В. Шевчук, 2017

relatively independent fluid magmatic systems of various levels: basaltoid (tectonospheric) and granitoid (mantle to the core and tectonospheric) and to propose a model scheme for formation and development of hypothetic granitoid fluid magmatic system to a significant extent. The model foresees formation of thermo-fluid conglomerations critical in scale and pressures on the edge core-mantle, with stable silicon alkaline chemical specialization – the result of differentiation in the rear medium and its consecutive penetration to the upper levels of the planet, where formation of quartzo-feldspathic mineral associations (granite formation) is possible due to the appropriate RT-conditions. Geographical ranges of granite formation at the upper crustal level are determined not with separate tectonic modes or geodynamical atmospheres but scales of deep thermofluid anomalies which are indirectly connected with formation of tectonospheric basaltoid fluid magmatic systems and transformed with crustal structures. Granite is formed by granitizing fluid interaction with basaltoid melts of different generation levels and with solid upper crustal substrate of different age and origin. In this way metamagmatic, hybrid, diverse in composition, with prevailing porphyro-granitic sometimes rapakivi granites, whereof bodies have signs of allochthonic deposits, and autochthonous palingenic and metasomatic migmatites and granitoids, whereof establishing is accompanied with specific crustal tectogenesis. Discrete processes of mass granite formation can be partially combined with tectonospheric basaltoid fluid magmatic systems having predominantly permanent development.

*Key words:* granite formation, tectonosphere, seismic tomography, fluid magmatic systems.

## ПРОБЛЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГРАНИТНОГО СЛОЯ ПЛАНЕТЫ (МАССОВОГО ГРАНИТООБРАЗОВАНИЯ) В СВЕТЕ СЕЙСМОТОМОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ

**В.В. Шевчук**

*(Рекомендовано д-ром геол.-минерал. наук С.Г. Кривдиком)*

*Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, УНИ «Институт геологии», Киев, Украина, E-mail; svgeol@yandex.ua*

*Доктор геолого-минералогических наук, профессор, профессор кафедры общей и исторической геологии.*

Комплексная проблема формирования гранитного слоя Земли определенным образом отражает глобальную эволюцию планеты, ее вещественную дифференциацию, формирование ядра, литосферы и внешних оболочек. Все более совершенные сейсмотомографические исследования, существенно конкретизирующие строение глубинных геосфер и визуализирующие связи между ними, предоставляют новые импульсы для поисков новых решений ряда давних проблем, в частности «проблемы гранитов». Анализ эволюции представлений о гранитообразовании и формировании гранитного слоя, которые формировались в рамках как геосинклинально-платформенной, так и плитотектонической концепций, на новой сейсмотомографической основе позволяет выделить две относительно независимые разноуровневые флюидно-магматические системы: базальтоидную (тектоносферную) и гранитоидную (сквозьмантийно-тектоносферную) и предложить схему-модель формирования и развития в большей мере гипотетической гранитоидной флюидно-магматической системы. Модель предусматривает формирование на границе «ядро–мантия» критичных по масштабам и давлениям термофлюидных скоплений с устойчивой кремний-щелочной химической специализацией – результатом дифференциации в жидкой среде и последовательное их проникновение к верхним уровням планеты, где в силу соответствующих  $p, t$ -условий возможно формирование кварц-полевошпатовых минеральных ассоциаций (гранитообразование). Ареалы гранитообразования на верхнекоровом уровне определяются не отдельными тектоническими режимами или геодинамическими обстановками, а масштабами глубинных термофлюидных аномалий, которые опосредованно связаны с формированием тектоносферных базальтоидных флюидно-магматических систем и трансформируются коровыми структурами. Гранитообразование осуществляется путем взаимодействия гранитизирующих флюидов с базальтоидными расплавами различных уровней зарождения и с твердым верхнекоровым субстратом разного возраста и происхождения. Таким образом формируются метамагматические, гибридные, пестрые, с преобладанием порфиroidных, временами рапакивидных граниты, тела которых имеют признаки аллохтонного залегания, или автохтонные палингенно-метасоматические мигматиты и гранитоиды, становление которых сопровождается специфическим коровым тектогенезом. Дискретные процессы массового гранитообразования могут частично совмещаться с тектоносферными базальтоидными флюидно-магматическими системами, имеющими преимущественно перманентное развитие.

*Ключевые слова:* гранитообразование, тектоносфера, сейсмотомография, флюидно-магматические системы.

## Вступ та постановка проблеми

Серед давніх проблем геології особливе місце посідає так звана проблема граніту, яка дискутується вже понад два століття. Головна її особливість полягає у комплексному характері, оскільки за питанням власне походження граніту як типу гірської породи криється низка інших питань фундаментального рівня, таких як походження гранітного шару планети, диференціації земної речовини, формування геосфер та взаємозв'язків між ними, взаємообумовленості речовинних і деформаційних процесів та ін., які досі не мають однозначного тлумачення. У цій проблемі петрогенетичний аспект тісно пов'язується із геодинамічним або тектонічним аспектом, тому підходи до вирішення загальної проблеми змінювались із зміною пануючих геотектонічних концепцій. Кожна така зміна, а також поява принципово нових технологій, методів та засобів геологічних досліджень стимулювали інтерес до проблеми граніту і сприяли усе більш глибокому розумінню складних природних явищ. Останнім часом дискусія щодо питань гранітоутворення поновлена, зважаючи на бурхливий розвиток сейсмотомографічних досліджень, які дозволили у певному сенсі «візуалізувати» взаємозв'язки між усіма геосферами планети і у такий спосіб розширити можливості аналізу базових моделей гранітоїдного петрогенезису та континентального короутворення, які у деяких аспектах досі зберігають гіпотетичний характер.

## Розвиток уявлень про тектонічні режими і геодинамічні умови гранітоутворення

Зміна геосинклінально-платформної («фіксистської») парадигми мобілістичною плитотектонічною, надзвичайно важлива для розуміння літосферного тектогенезу, мало що змінила в уявленнях про формування геосфер планети, взаємозв'язки між ними, умови і механізми диференціації земної речовини. Ряд значущих проблем глобального характеру, означених в рамках старої концепції, не вирішувалися самі по собі і не зникли. Відійшовши на певний час на другий план перед необхідністю переосмислення потоку нових фактів і розробки розгалуженої системи плейтектонічних напрямів, вони знову опинилися в центрі уваги багатьох дослідників. Одним із таких проблемних питань залишається питання про ендегенну активність Землі, зокрема про змінний у часі і просторі процес формування гранітного шару планети.

Тривалий час у геології панували уявлення про незворотність процесів переходу від геосинкліналі та епігеосинклінального орогену до континентальної платформи, яка вважалась кінцевим членом еволюційного ряду, причому потужне гранітоутворення сприймалося органічною частиною цього процесу [Обуэн, 1967]. Разом з тим вже починаючи із 20-х років минулого століття значною мірою завдячуючи працям В.А. Обручева, Е. Аргана, Г.Ф. Мірчинка, Є.В. Павловського окреслювалися уявлення про перетворення платформ у орогенні пояси брилової будови, порівнянні за розміром та значенням з геосинкліналями і платформами. Для таких утворень у працях М.І. Ніколаєва та М.П. Хераскова була запропонована назва «орогенічні зони та області», з розподілом на епіплатформні та епігеосинклінальні. Ці терміни були сприйняті О.Л. Яншиним і В.Ю. Хаїним, з роботами яких пов'язане широке розповсюдження поняття «епіплатформний орогенез», з яким асоціюють дива-структури Чень-Гоода, епігонали Ю.В. Комарова і П.М. Хренова, кіматогенез Л. Кінга та ін.

Найбільшого застосування набув термін «тектоно-магматична активізація» (ТМА). В цілому, області ТМА відзначаються інтенсивними диференційованими рухами великих блоків континентальної літосфери з відродженням існуючих та формуванням нових глибинно-розломних систем, слабконтрастним ареальним гороутворенням, що супроводжується компенсаційними западинами з моласоїдним виповненням, строкатим вулканізмом, потужним гранітоїдним інтрузивним магматизмом і плутонометаморфізмом з різноманітними типами рудної мінералізації. Процеси ТМА, судячи з різновікових їх проявів і перш за все мезозойських, досліджених на сході Азії та у західних частинах Північної та Південної Америки, де вони виявилися накладеними на древні Сибірську, Китайську, Північно- та Південно-Американську платформи, а також байкальські, каледонські, герцинські та кімерійські складчасті зони із раніше сформованою континентальною корою, мають тенденцію до поясового розвитку [Нагибина и др., 1975; Нагибина, 1988; Мезозойская..., 1983; Структурна..., 1991; Хаин, 1971; Шевчук, 1997].

У зв'язку з масовим гранітоутворенням в областях ТМА тривалий час дискутується питання про співвідношення епігеосинклінального та епіплатформного (пов'язаного з ТМА) орогенезу.

В рамках геосинклінально-платформної концепції висловлювались різні, часом протилежні припущення. Розглядаючи випадки встановлення платформних режимів після геосинклінальних, минаючи орогенну стадію, та випадки незгідного характеру орогенних структур щодо геосинклінальних, В.В. Белоусов доводив повну незалежність орогенного режиму від геосинклінального. Найчастіше ж такі прояви орогенезу розділяли, орієнтуючись перш за все на співвідношення в часі геосинклінального й орогенного процесів.

З позицій концепції тектоніки літосферних плит проблема орогенезу та пов'язаного з ним гранітоутворенням вирішена лише частково. Схема стадійності розвитку океанічних басейнів Дж. Т. Вільсона, яка демонструє динамо-кінематичні умови розвитку рухливих поясів планети від утворення глибоководних басейнів з корою океанічного типу до формування складчасто-покривних орогенів із корою континентального типу, не вичерпує всього різноманіття орогенних структур за стилем свого розвитку навіть в межах складчастих (геосинклінальних) поясів, міжконтинентальних чи окраїнно-континентальних. Що ж до орогенезу внутрішньоплитного, ареали якого можуть бути просторово не пов'язаними із складчастими поясами відповідного віку, то вони, як і раніше, залишаються без прийнятних тлумачень [Хаин, 2003]. Намагання і їх пояснити колізійними процесами, як і генетичне ув'язування з пізніми стадіями розвитку акреційних і власне колізійних орогенів амфіболітового метаморфізму та гранітоїдного батолітоутворення, не є переконливим. Адже масове гранітоутворення характерне далеко не для усіх колізійних орогенів, воно встановлене і поза межами колізійних зон. Отже, гранітоутворення одного й того ж етапу відзначається в областях з різними тектонічними режимами (геодинамічними обстановками), як це, зокрема, однозначно встановлено на прикладі мезозойської ТМА в межах Східної Азії.

#### **Дискретність процесів гранітоутворення**

Важливим є аналіз інтенсивності ТМА в часі. На фоні тектонічних і магматичних проявів перманентних ендегенних (диференціаційних) процесів, для яких доведено певну незворотність та спад активності від раннього докембрію до сьогодення, давно доведено існування декількох аномальних спалахів активності, проявленої

передусім потужним гранітоутворенням, з якими пов'язують формування гранітоїдного шару континентальної кори, формування і глибокі перетворення зовнішніх оболонок планети атмосфери та гідросфери. Саме такі спалахи ендегенної активності планети класифікуються проявами ТМА [Нагибина и др., 1975]. За багатьма даними, до найпотужніших етапів ТМА відносять палеоархейський (плагіогранітизація і формування протоконтинентальної кори), палеопротерозойський (двопольовошпатово гранітизація і формування зрілої континентальної кори) та пізньомезозойський (двопольовошпатово гранітизація та нарощування гранітоїдного шару головню в межах Східної Азії, Північної та Південної Америки). Тривалість цих етапів порівняна і орієнтовно оцінюється в межах 100-300 млн років. Труднощі з уточненням просторово-часових параметрів пов'язані не лише із міграцією в просторі і перманентно-імпульсним характером магматичних проявів, а й із проблемами палеотектонічних реконструкцій кінематики літосферних плит на різних етапах розвитку планети. Особливе значення в цьому плані має пізньомезозойська ТМА, на прикладі якої у відносно неспотвореному плитотектонічному взаємодію вигляді можна бачити ареально-поясове розповсюдження тектоно-магматичних процесів, насамперед процесів гранітоутворення, а також достатньо виразну їх полярність. Менш масштабними і виразними, частково завдяки саме складнощам палеокінематичних реконструкцій, виглядає пізньопалеозойський етап (двопольовошпатово гранітоутворення), прояви якого фіксуються в межах Європи та деякі інші локальні прояви.

#### **До проблеми походження гранітів**

Проблема походження гранітів неодноразово декларувалась остаточно вирішеною, хоча й досі немає навіть однозначного визначення граніту. Добре відомі намагання обмежитись виключно магматичними утвореннями, однак при цьому залишались осторонь значні об'єми гранітоїдів не магматичного походження, до того ж еволюція та кристалізація природних розплавів виявились залежними від багатьох факторів і значно складнішими, ніж це уявлялось на підставі лабораторних моделей із закритими системами.

Тривалий пошук єдиного (головного) механізму гранітоїдного петрогенезису позначився аргументацією ряду можливих шляхів форму-

вання порід гранітоїдного складу, серед яких такі, що не мають значного поширення у природі. Усі вони давно окреслені завдяки емпіричним, теоретичним і експериментальним дослідженням, але продовжують дискутуватись, що простежується, зокрема, в оглядових роботах різних років [Боуэн, 1950; Половинкина, 1957; Жариков, 1987; Соболев, 1992; Хаин, 2003 та ін.].

Передусім йдеться про диференціацію силікатних розплавів. Перспективними вважаються магматична, кристалізаційна, гравітаційна, кінематична, ліквідаційна, гідротермальна, кислотнолужна, анатектична та інші диференціації. Для набуття розплавами необхідного складу припускаються асиміляція, контамінація, гібридизація та флюїдно-магматична взаємодії. Для перетворення твердих субстратів у гранітоїди задіюються механізми метасоматозу (дифузійного та інфільтраційного), інтрасоматозу, анатексису, селективного та часткового плавлення, палінгенезу. Сукупно процеси гранітоутворення позначають поняттями мігматизація та гранітизація, розрізняючи метасоматичну, палінгенно-метасоматичну, інфільтраційно-анатектичну та гідротермальну гранітизації, магматичне заміщення та плутонометаморфізм.

Щодо зв'язку гранітоутворення з тектонічними режимами, геодинамічними обстановками та глибинними рівнями Землі, то граніти поділялись на геосинклінальні, ранньоорогенні, пізньоорогенні та анорогенні [Rogers, Greenberg, 1990], а також островодужні, колізійні, постколізійні, внутрішньоплитні і т. п. Після запропонованого Б.У. Чепелем і А. Дж. Р. Уайтом розподілом гранітів на І- та S-типи, тобто на мантіїні і корові [Chappell, White, 1974], до них додалися анорогенні А-граніти, М-граніти, Н-граніти та ін. Намагаючись раціоналізувати таку класифікацію, що стихійно склалася, В.Ю. Хаїн виділив три категорії гранітів з поділом на групи за геодинамічними обстановками: мантіїні (MS, MP, MI), мантіїно-корові (MCS, MCP, MCR) та корові граніти [Хаин, 2003]. Останнім часом широко обговорюються схеми типізації гранітів за речовинним складом і геодинамічними обстановками формування. Популярною, зокрема, є еkleктична класифікація Б. Барбарена, який виділив шість типів гранітоїдів: MPG – мусковітвмісні пералюмінієві, SPG – кордієритвмісні пералюмінієві, KCG – багаті калієм вапняково-лужні, ACG – амфіболові вапняково-лужні, ATG – островодужні толеїтові, RTG – серединно-

океанічні толеїтові, PAG – ультралужні і лужні гранітоїди [Barbarin, 1999]. Уявлення про флюїдні режими гранітоутворення також досі дуже різні – від відстоювання сухих умов до принципової неможливості формування гранітів у безводних умовах та одночасності формування гранітного шару планети та гідросфери [Whitney, 1988]. Проблему простору при батолітоутворенні намагаються вирішити, припускаючи механізми заміщення, обвалювання покрівлі, діапїризму, роздування, проникнення по розломах різного кінематичного змісту, зокрема у зв'язку з обстановкою розтягу [Atherton, 1994].

Навіть такий, далеко не повний перелік існуючих термінів і понять, класифікацій речовинних систем і механізмів петрогенезису, частина з яких у змістовному сенсі перекриваються, відображає багатофакторність процесів і різноманіття шляхів формування порід кислого складу. Такий стан може свідчити ще й про те, що процеси масового гранітоутворення не є функцією якогось одного тектонічного режиму чи геодинамічної обстановки, а є відносно незалежними щодо них. У зв'язку з цим виникає необхідність якомога більш чіткого розмежування принципово різних процесів (механізмів) і визначення головних, таких, що забезпечують масове гранітоутворення та формування гранітного шару, тобто континентального типу земної кори.

Саме тривале протистояння між магматистами і метасоматистами-трансформістами і відображає такі головні механізми. Справді, значні об'єми гранітоїдних порід мають усі ознаки магматичного походження, хоча й не знаходять пояснення з позиції еволюції окремо взятого силікатного розплаву будь-якого складу. Не менш значні об'єми континентальної кори складені гранітоїдами, що не мають відношення до власне магматичних порід. До того ж агрегатний стан однієї й тієї ж речовини гранітоїдного складу може змінюватись під впливом умов петрогенезису.

Спроби довести пріоритетність магматичного походження гранітів шляхом диференціації первинної базальтової магми зумовили ретельний аналіз зон спредингу і зон субдукції (острівних дуг). Однак, як зазначає В.Ю. Хаїн, «частка плагіогранітів серед утворень океанічної кори і офіолітів, що їм відповідають, вкрай невелика, і саме тому можливість формування основної маси протоконтинентальної кори безпосередньо

за рахунок часткового плавлення мантії нині відкидається» (Пер. наш. – В.Ш.) [Хаин, 2003, с. 121].

Вирішення проблеми, на наш погляд, слід шукати не у протиставленні давно означених двох шляхів масового гранітоутворення, а у пошуках спільних ознак і об'єднуючих факторів. Адже вже доведено, що гранітоїди обох типів формуються виключно на верхньокоровому рівні планети, складають лінзоподібні субгоризонтальні тіла, які сумарно формують лінзоподібний гранітний шар. Не менш очевидним також є і те, що останній не міг утворитись без транспортування на рівень континентального короутворення значних мас кремнезему і лугів та епізодичного формування на верхньокоровому рівні особливих гранітоутворюючих флюїдно-магматичних систем. На прикладі Східно-Азійського орогенного поясу, зокрема Східно-Забайкальської області мезозойської гранітоїдної ТМА, конкретизовано домінування в межах гранітного шару планети двох принципово різних петролого-генетичних типів гранітоїдів: автохтонних, палінгенно-метасоматичних та алохтонних, метамагматичних, а також формування тих та інших у аргументованих Д.С. Коржинським відкритих системах із цілком рухливими компонентами, за участі глибинних флюїдів відповідної геохімічної спеціалізації [Шевчук, 1990, 2003].

Виходячи з таких позицій, питання про глибинність гранітів того чи іншого петрогенетичного типу не може мати однозначної відповіді (наприклад, мантійні чи корові), оскільки слід розрізняти глибинність твердопородного субстрату автохтонних та параавтохтонних гранітоїдів, глибинність базових розплавів – своєрідного субстрату для флюїдно-магматичної взаємодії, глибинність флюїдів особливої геохімічної спеціалізації – регуляторів  $p$ ,  $t$  і фізико-хімічних умов петрогенезису і, нарешті, глибину власне гранітоутворення.

Практично однозначно вирішується лише питання про глибинність формування гранітоїдних мас (тіл), оскільки вони фіксуються лише в межах верхньої кори. Однак глибина зародження гранітизуючих термофлюїдних потоків достеменно не відома. У різні часи вони вважались підкоровими, верхньомантійними, астеносферними або нижньомантійними. Останнім часом усе більше даних дозволяє припускати зародження таких потоків на межі «ядро–мантія» у зв'язку з відокремленням летких компонентів –

продуктів диференціації земної речовини у рідкому верхньому ядрі. Так чи інакше, флюїдні потоки диференціюються за міграційною здатністю компонентів. Вони, судячи із особливостей різновікових гранітоїдів, при загальній кремній-лужній спеціалізації спрямовано і незворотно змінювали свій геохімічний профіль від суттєво кремнієвого до натрій-кремнієвого (рубіж палео- і мезоархею) і калій-кремнієвого (рубіж неоархею і палеопротерозою), трансформуючись при цьому від переважно вуглекислих до здебільшого водних.

Породні комплекси, що гранітизуються в межах верхньої кори, об'єднують компоненти різної глибинності – від мантійних складових офіолітових асоціацій до верхньокорових осадових утворень. Близький діапазон глибин характерний також для розплавів головно базитового складу, різнорівневі осередки яких утворюються під впливом відповідних геодинамічних та флюїдних режимів. Суміщення у часі і просторі магматичних та флюїдних потоків обумовлює процеси флюїдно-магматичної взаємодії [Коржинський, 1973; Эпельбаум, 1979; Маракушев, 1988] та послідовну зміну хімізму розплаву на шляху міграції, а також гранітоїдне мінералоутворення вже в умовах верхньої кори.

Давня проблема простору при формуванні гранітних батолітів (плутонів, мігматит-плутонів тощо) загострилася після того, як геофізичними засобами було показано плоский, лінзоподібний характер гранітоїдних тіл. Дієвим засобом вирішення цієї проблеми стає усе більш адекватне математичне моделювання геологічних процесів і структур. Зокрема, проведені розрахунки впливу термофлюїдних аномалій на напружено-деформаційні стани корових систем із пружними і пружно-пластичними середовищами [Шевчук, Лихачев, 1996] доводять, що завдяки об'ємним ефектам фазових перетворень термофлюїдні потоки стають важливим силовим чинником корового структуроутворення, здатним створювати аномальні (інверсійні) поля напружень із субвертикальним розташуванням осі мінімального стиснення (розтягу), які, у свою чергу, спричиняють формування сприятливих для гранітоутворення субгоризонтальних зон відносної декомпресії або й розтягу. Інверсійні поля напружень можуть формуватись також у колізійних обстановках, але участь глибинних флюїдів у процесах масового гранітоутворення видається незаперечною.

## Проблема дегазації Землі, головні рівні диференціації планети

Проблема дегазації Землі, глибинних флюїдів (іхори, фільтруючі колони, кризьмагматичні розчини, газові струмені, інтрателуричні потоки тощо) і флюїдних режимів дискутується тривалий час [Коржинский, 1972, 1973; Кропоткин, 1980; Маракушев, 1988, 1999; Перчук, 1997; Летников, 2001]. В глобальному плані з флюїдним режимом так чи інакше пов'язують походження та еволюцію зовнішніх оболонок планети, а серед головних аспектів наукового пошуку виділяються питання глибинності джерел флюїдних потоків, способи їх генерації, геохімічні й агрегатні трансформації на шляхах міграції, петрогенетичного значення, енергетичних характеристик тощо.

Давно визнається, що головним рівнем диференціації планети є верхнє ядро. Сепарація первинної речовини Землі на цьому рівні забезпечила формування внутрішнього ядра і зовнішніх оболонок планети. Питання про хімічний склад, механізми та шляхи переміщення до поверхні легких і відносно легких компонентів належать до найбільш дискусійних. Високою є ймовірність того, що міграція різних компонентів має бути різко диференційованою як за швидкістю, так і за шляхами міграції. Перманентною, практично безперешкодною може бути міграція водню та гелію, що підтверджується так званим водневим і гелієвим диханням планети. Комплексні за складом флюїди потребують відповідних умов транспортування. Передусім йдеться про накопичення критичних мас із створенням відповідних тисків. Іншою важливою умовою можна вважати наявність неоднорідностей на межі кори і мантії та створення відносно проникних зон на різних глибинних рівнях мантії або за рахунок твердопластичної конвекції, або локального плавлення в зонах відносної декомпресії, посиленого фізико-хімічним впливом флюїдів. Отже, такі комплексні за складом флюїдні маси, що формуються тривалий час у великих об'ємах, повинні бути достатньо однорідними, витриманими за хімічним складом, а їх потоки дискретними, практично незалежними від тектоносферних процесів.

Більша частина недостатньо потужних проривів зупинятиметься на різних рівнях, вичерпавши енергетичний ресурс, чим і пояснюються сейсмотомографічні особливості нижньої мантії, а наскрізномантіїний характер матимуть лише

найпотужніші, що не виключає можливості виникнення поряд із глобальними ареально-поясовими проявами окремих точкових проривів.

У будь-якому випадку пояснення природи швидкісних аномалій та нестационарного характеру теплового поля мантії повинне базуватись на аналізі якісних і кількісних співвідношень різних форм тепломасопереносу (кондуктивного і конвективного), причому передусім мають враховуватись флюїдоконвективні процеси, які на порядки більш ефективні від твердопластичних. Окрім того, що флюїди завжди виступають потужними регуляторами температур і усебічних тисків, вони мають значний потенціал додаткової теплогенерації внаслідок послідовного окиснення первинно відновних компонентів флюїдної фази. Такі ефекти часто не враховуються при пошуках додаткових джерел ендогенної енергії, здатних до аномально концентрованого прояву і причетних до формування твердопластичних переміщень речовини мантії.

Другий за значенням астеносферний рівень диференціації земної речовини суттєво інший за усіма показниками. Головна його відмінність – порівняно невелика глибина, якої сягають крихко-пластичні літосферні дислокації та, відповідно, декомпресія, що визначає часткове плавлення речовини мантії у локалізованих зонах розтягу. На цьому рівні формуються тектоносферні, близькі до рівноважних флюїдно-магматичні системи, оскільки і розплави, і флюїдна фаза формуються з одного й того ж субстрату. Магматизм зон спредингу, зон субдукції, континентальних і океанічних рифтів доволі витриманий протягом усієї еволюції Землі, і у ньому ніколи не було місця скільки-небудь масштабному гранітоутворенню. Отже, варто аналізувати не лише віртуальні первинні чи родоначальні магми, а передусім різні типи флюїдно-магматичних систем. Серед можливих варіантів таких систем усе більш вірогідними є дві базові: наскрізномантіїно-тектоносферна (гранітоїдна) із підмантіїним зародженням флюїдної складової та власне тектоносферна, базальтоїдна, із формуванням як флюїдної, так і магматичної складових на рівні астеносфери.

## Сучасна сейсмотомографія, мантіїні суперплюми

Пошуки причин ТМА здавна спонукали дослідників аналізувати потенціал різних глибинних рівнів планети, усе частіше припускати вирішальне значення головного рівня диференціації первинної речовини Землі – зовнішнього ядра планети.

Дослідження у таких напрямках мали потужний імпульс у зв'язку з розвитком сейсмотомографії, яка дає можливість отримати тривимірну модель кори і мантії у швидкісних характеристиках речовини за даними вивчення поздовжніх, поперечних і поверхневих сейсмічних хвиль і дозволяє простежувати співвідношення між усіма геосферами планети, передусім зовнішнього ядра та земної кори [Anderson, 1982; Dziewonski, 1984; Андерсон, Дзевонский, 1984; Su, Dziewonski, 1997; Davies, Richards, 1992; Hill et al., 1992; Пушаровский, 1998; Ritsema et al., 1999; Меланхолина и др., 2001; Wang, Wen, 2004; Anderson, Natland, 2005; Davies, 2005; Campbell, Kerr, 2007; Romanowicz, 2008 та ін.]. Постійне зростання бази даних сприяє підвищенню детальності сейсмотомографічних моделей та якості їхньої геологічної інтерпретації. Найбільшою детальністю відзначаються моделі земної кори та верхньої мантії, в той час як у структурі середньої і нижньої мантії більш-менш впевнено виділяються лише великі її елементи. Детальнішими стають також моделі будови земного ядра [Yoshida et al., 1996; Lister, Buffett, 1998].

Геологічна інтерпретація даних сейсмотомографії принципово мало чим відрізняється від інтерпретації класичних сейсмічних даних. Тут також можливі різні підходи, різне трактування природи швидкісних аномалій. У геологічній інтерпретації неодмінно відчувається вплив пануючої геотектонічної концепції та дефіцит коректних даних про відображення у геофізичних полях речовини та структури геологічних середовищ. Як раніше, так і тепер приймається, що швидкісні аномалії є інтегральним відображенням різних властивостей геологічних середовищ і можуть бути зумовлені різними причинами. Зазвичай вони інтерпретуються як потоки відносно гарячої та холодної речовини. Разом з тим очевидно є необхідність враховувати мінерало-петрографічні, структурні, деформаційні особливості тощо.

А ргіогі припускається, що перераховані фактори можуть діяти одночасно, однак співвідношення між ними повинні змінюватись на різноглибинних рівнях, у межах різних геосфер через домінування суттєво різних процесів, розбіжності у  $p$ ,  $t$ - і фізико-хімічних умовах. Крім того, наведений перелік факторів не є повним, з нього часто випадає аналіз ролі флюїдної фази як у геологічних процесах, так і у формуванні

сейсмічних аномалій. Одночасно виникають нові питання щодо адекватності моделей, які створюються на основі геологічної інтерпретації сейсмотомографічних даних. Зокрема, сучасні швидкісні аномалії можуть практично однаково відображати різновікові геологічні явища і процеси за їхніми реліктовими проявами (речовинними, реологічними, структурно-текстурними тощо), тому існує небезпека об'єднання в єдину сучасну систему швидкісних неоднорідностей геологічних проявів, різних за природою і віком. Отже, інтерпретація сейсмотомографічних даних повинна враховувати не лише морфологію швидкісних аномалій, але й альтернативні моделі незворотного і дискретного розвитку планети.

Не зупиняючись на відомих результатах сейсмотомографічних досліджень останніх десятиліть, викладених у численних публікаціях, відзначимо лише найголовніші здобутки, що можуть мати безпосереднє відношення до проблем гранітоутворення. Серед головних особливостей розподілу швидкісних неоднорідностей у мантії зазвичай називають дисгармонію будови мантії із контрастними неоднорідностями у верхній і нижній її частинах та суттєво нижчою контрастністю у середній [Пушаровский, 2001]. Іншим очевидним наслідком аналізу розподілу неоднорідностей вважається співставність за інтенсивністю і масштабами радіальних і концентричних неоднорідностей.

Наймасштабніші сейсмотомографічні елементи структури мантії отримали власні назви: апвелінги – трансмантіїні «суперплюми легкого гарячого матеріалу» і компенсуючі даунвелінги «щільних холодних мас». Достатньо очевидним можна вважати також незбіг структурних планів на різних глибинних рівнях мантії. При цьому часто підкреслюється наявність більш-менш чітких зв'язків окремих апвелінгів, що піднімаються від подошви мантії і трансформуються у певний спосіб у середній мантії (1700-2200 км), із гарячими точками і зонами спредингу у верхній мантії і літосфері. Таким же непрямим відображенням на різних глибинних рівнях є сучасні даунвелінги. Намагання безпосередньо прослідкувати їх аж до подошви мантії не виглядає безсумнівним. До того ж, такі тенденції важко узгоджуються із особливостями середньої мантії як відносно консервативного та однорідного шару мантії, що характеризується меншою кількістю і слабшою інтенсивністю проявів



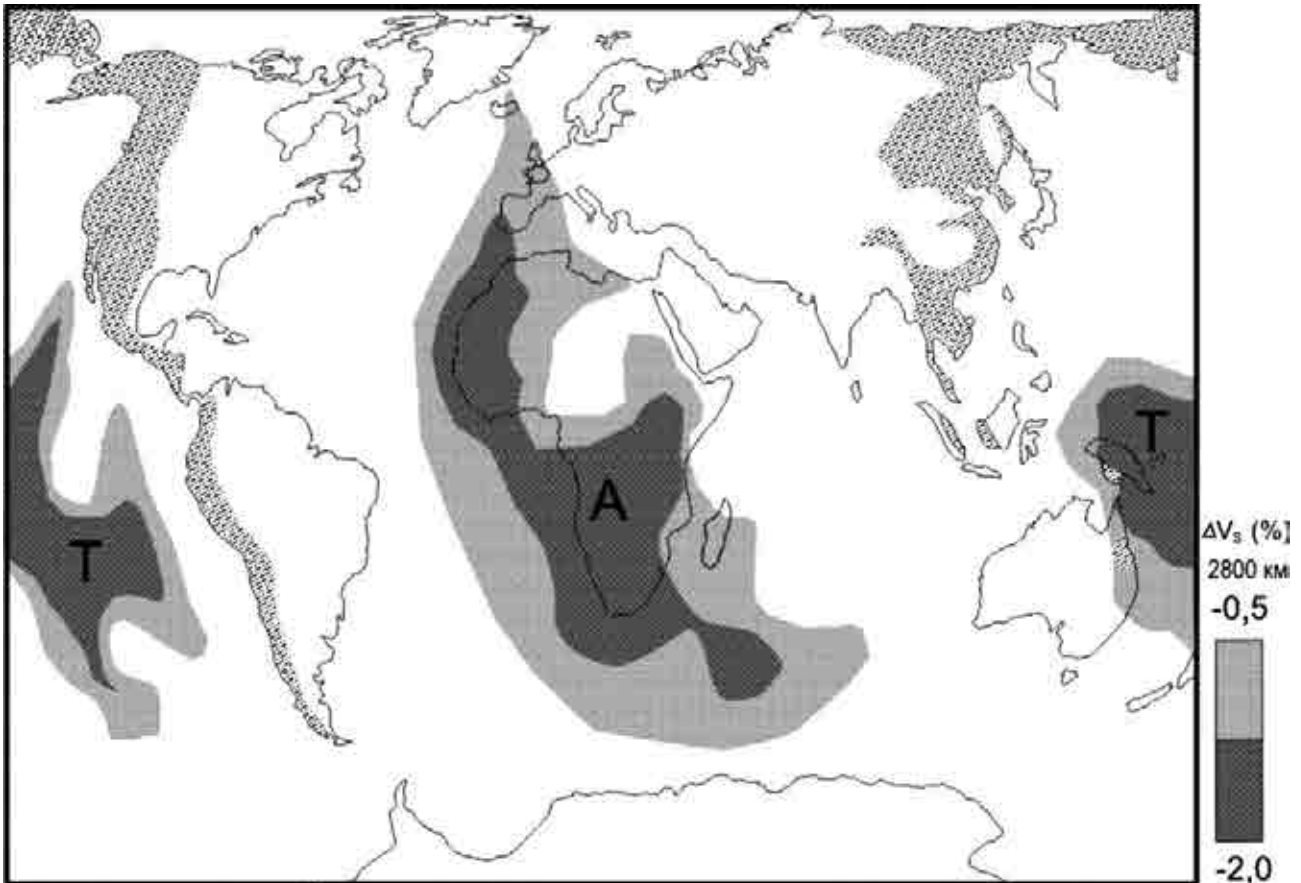


Схема областей мезозойської гранітоїдної активізації (штриховка) та розташування Африканського (А) і Тихоокеанського (Т) суперплюмів

Scheme of regions of Mesozoic granitoid activation (hatching) and locations of African (A) and Pacific (T) superplumes

швидкісних неоднорідностей. Така ситуація породжує уявлення про зміщення мантийних оболонок однієї відносно іншої та висуває на передній план дискусійне питання про причинно-наслідкові співвідношення апвелінгів і даунвелінгів та їх природу, яке досі не має однозначного вирішення.

Суперплюми сприймаються спонтанною нестабільністю теплового граничного шару на межі «ядро–мантия», що є незалежним фактором геодинамічної системи Землі, який може впливати на плитну тектоніку (див. рисунок). Розвиток даунвелінгів може сприяти створенню суперконтинентів, а апвелінгів – їхньому розпаду [Jellinek, Manga, 2004; Li, Zhong, 2009]. Поширеною є також гіпотеза про зародження апвелінгів (наскрізномантийних суперплюмів) завдяки термохімічним скупченням на межі «ядро–мантия» [McNamara, Zhong, 2005; Bull et al., 2009]. Із такими скупченнями пов'язують, зокрема, Африканський і Тихоокеанський суперплюми, встановлені в межах нижньої мантиї [Torsvik et al., 2006].

Поряд із уявленнями про прямий зв'язок суперплюмів та фрагментації літосфери на мобільні плити і певну залежність їх розташування щодо зон субдукції [Anderson, 1982; Burke et al., 2008] висловлюються також думки про відсутність таких зв'язків [Hill et al., 1992]. G.F. Davies, M.A. Richards [Davies, Richards, 1992], зокрема, відстоюють існування окремих плитного і плюмового режимів конвекції мантиї, співвідношення між якими досі не визначені.

### Співвідношення в часі і просторі різноглибинних суперплюмів та областей гранітоутворення

Співвідношення між суперплюмами у поширеному розумінні і проявами ТМА на верхньокоровому рівні наочно демонструється, знову ж таки, пізньомезозойською ситуацією. У більшості моделей розвитку Африканського та Тихоокеанського суперплюмів дослідники припускають, що різновікові центри базитового магматизму, які потрапляють у контури сучасних суперплюмів,

відображають їхній наскрізномантійний характер та тривалість існування у дві-три сотні мільйонів років з ростом найвищої активності близько 100 млн років. Зокрема, тривалість максимальної активності Тихоокеанського суперплюму встановлюється в межах від 200-80 млн років [Li, Zhong, 2009]. Практично такий же віковий діапазон характерний для піку гранітоутворення в межах Тихоокеанського орогенного поясу, але просторово області мезозойської ТМА зовсім не збігаються із контурами суперплюмів. Тобто у сучасних моделях розвитку суперплюмів процеси масштабного гранітоутворення в межах областей ТМА не аналізуються, хоча, на наш погляд, незаперечно свідчать про можливість одночасного продукування гранітів і кори континентального типу в умовах ТМА і генерації кори океанічного типу в межах Тихоокеанського суперплюму. Очевидно, що ми маємо справу із суттєво різними магматичними системами глобального масштабу. Відрізнитися вони можуть передусім глибинністю і, відповідно, хімізмом флюїдної фази – визначального фактора розвитку магматичних і метаморфічних систем. Якщо і магми, і флюїдна фаза нині діючих суперплюмів, зон спредингу, зон субдукції (базальти, андезити) мають тектоносферне (астеносферне) закладення, то гранітоїдні ультраметаморфічні і метамагматичні системи, ймовірно, формуються внаслідок взаємодії надглибинних наскрізномантійних флюїдних потоків із тектоносферними розплавами і верхньокоровим твердотільним субстратом. Принаймні, інтерпретаційні геологічні моделі мантійних суперплюмів, що зовсім не враховують дискретних у часі і просторі процесів масового гранітоутворення, не можуть вважатись прийнятними.

Питання генетичних, причинно-наслідкових зв'язків щодо швидких концентрованих флюїдоконвективних потоків у повільну та великоамплітудну твердотільну конвекцію породних мас, перебудови стаціонарних теплових полів на шляху проникнення термофлюїдних аномалій та у сфері впливу твердопластичної конвекції ще чекають свого вирішення.

## Висновки

Сформулюємо висновки у вигляді гіпотетичної схеми-моделі зародження та розвитку трансмантійних термофлюїдних потоків, що можуть бути причетними до масового гранітоутворення і формування гранітного шару планети.

1. Диференціаційні процеси в межах головного диференціаційного рівня планети – зовнішнього ядра головним результатом мають нарощування внутрішнього ядра та накопичення легкої фракції, агрегатний стан якої може бути змінним на шляху наскрізномантійної міграції. Форма таких скупчень та їх розподіл на межі «ядро–мантія» визначаються ротаційним режимом планети, нерівностями у підшві мантії та ступенем неоднорідності будови і фізико-хімічних властивостей перехідного шару.

2. Міграційна здатність різних компонентів флюїдних скупчень дуже різна – від практично необмеженої для водню і гелію до можливої лише при умові створення особливих шляхів проникнення та надкритичних тисків комплексних сполук флюїдної фази. Шляхи проникнення зумовлюються динамікою мантійних мас (твердопластичною конвекцією), що формується під впливом термофлюїдних потоків. Таким чином, перманентний потік окремих компонентів має поєднуватись із дискретними у часі «викидами» значних мас флюїдів, здатних викликати відносну декомпресію на рівні зовнішнього ядра.

3. Такі викиди можуть мати точковий (точково-ареальний) і поясовий характер. Висота підняття флюїдних аномалій визначається головню енергетичним потенціалом (об'ємом) флюїдного скупчення (аномалії). Значна частина точкових флюїдних аномалій «затухає» в межах нижньої мантії, зумовлюючи специфічні реологічні її особливості. Найпотужніші точкові аномалії, можливо, здатні проникати крізь усі оболонки планети до її поверхні, з урахуванням відносного зміщення геосфер. Ймовірно, саме такі аномалії відображаються у сейсмотомаграфічних реконструкціях у вигляді трансмантійних суперплюмів, якщо геологічна інтерпретація сейсмотомаграфічних даних достатньо коректна.

4. З розвитком найпотужніших поясових (поясово-ареальних) термофлюїдних аномалій можуть бути пов'язані головні етапи континентального короутворення (потужний тектогенез, плутонометаморфізм, масове гранітоутворення), тобто тектоно-магматична активізація. Сучасний період розвитку Землі відзначається відсутністю таких процесів. Відтак, їх можливий прояв у швидкісних аномаліях достеменно не відомий, що й зумовлює головню складність у використанні сейсмотомаграфічних даних у геологічних реконструкціях.

5. Головна геохімічна особливість гранітизуючих термофлюїдних потоків полягає у привнесенні кремнію і лужних металів, що відображається у петрологічних наслідках їхньої взаємодії із твердим верхньокоровим субстратом та різнорівневими розплавами. Вона відмежовує їх від інших флюїдних та флюїдно-магматичних систем, зокрема тектоносферних, які, зароджуючись на астеносферному рівні, функціонують перманентно протягом усього часу існування континентальної літосфери і спричиняються до океанічного коротворення.

6. Витриманість хімічних особливостей наскрізномантії термофлюїдних потоків чітко проявляється на верхньокоровому рівні, де завдяки сприятливим  $p$ ,  $t$ -умовам відбувається зв'язування принесених флюїдами лугів

і кремнезему у структурах кварцу та польових шпатів з формуванням строкатої у багатьох відношеннях гама порід гранітоїдного складу. Взаємодія флюїдів з твердим верхньокоровим субстратом та з різнорівневими суттєво базитовими розплавами зумовлює формування відповідно палінгенно-метасоматичних та метамагматичних гранітоїдних комплексів.

7. Об'ємні ефекти термопружності і плутоно-метаморфічних перетворень під час розвитку термофлюїдних аномалій виступають в якості безпосереднього силового чинника, який спричиняє формування інверсійних полів напружень, специфічне граніто-гнейсове структуроутворення і лінзоподібну форму великих гранітоїдних тіл.

### Список літератури / References

1. **Андерсон Д.А., Дзевонский А.М.** Сейсмическая томография. *В мире науки*. 1984. № 12. С. 16-25.

**Anderson D.A., Dzevonsky A.M.**, 1984. Seismic tomography. *U mire nauki*, № 12, p. 16-25 (in Russian).

2. **Боуэн Н.** Гранитная проблема и метод многократных предубеждений. Проблема образования гранитов. Москва: Изд-во иностр. литер., 1950. Сб. 2. 386 с.

**Bowen N.**, 1950. Granite problem and the method of multiple biases. The problem of formation of granite. Moscow: Izdatelstvo inostrannoy literatury, 386 p. (in Russian).

3. **Жариков В.А.** Проблемы гранитообразования. *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология*. 1987. № 6. С. 3-13.

**Zharikov V.A.**, 1987. Problems of granite formation. *Vestnik Moscovskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ser. 4. Geologiya*, p. 3-13 (in Russian).

4. **Коржинский Д.С.** Потоки трансмагматических растворов и процессы гранитизации. *Магматизм, формирования кристаллических пород и глубины Земли*. Москва: Наука, 1972. С. 144-153.

**Korzinskiy D.S.**, 1972. Flows of transmagmatic solutions and processes of granite formation / D.S. Korzhinskiy. *Magmatism, formation of crystalline rocks and the depths of the Earth*. Moscow: Nauka, p. 144-153 (in Russian).

5. **Коржинский Д.С.** Метамагматические процессы. *Изв. АН СССР. Сер. геол.* 1973. № 12. С. 3-6.

**Korzinskiy D.S.**, 1973. Metamagmatic processes. *Izvestiya AN SSSR. Ser. Geologiya*, № 12, p. 3-6 (in Russian).

6. **Кропоткин П.Н.** Дегазация Земли и геотектоника. *Дегазация Земли и геотектоника*. Москва: Наука, 1980. С. 7-13.

**Kropotkin P.N.**, 1980. Degassing of the Earth and Geotectonics. *Degassing of the Earth and Geotectonics*. Moscow: Nauka, p. 7-13 (in Russian).

7. **Летников Ф.А.** Сверхглубинные флюидные системы Земли и проблемы рудогенеза. *Геология руд. месторождений*. 2001. № 4. С. 291-307.

**Letnikov F.A.**, 2001. Earth ultradeep fluid system and problems of ore formation. *Geologiya rudnykh mestorozhdeniy*, № 4, p. 291-307 (in Russian).

8. **Маракушев А.А.** Петрогенезис. Москва: Недра, 1988. 293 с.

**Marakushev A.A.**, 1988. Petrogenesis. Moscow: Nedra, 293 p. (in Russian).

9. **Маракушев А.А.** Происхождение Земли и природа ее эндогенной активности. Москва: Наука, 1999. 250 с.

**Marakushev A.A.**, 1999. The origin of the Earth and the nature of its endogenous activity. Moscow: Nauka, 250 p. (in Russian)

10. **Мезозойская** тектоника и магматизм Восточной Азии: Леонов Ю.Г. (ред.). Москва: Наука, 1983. 232 с.

**Mesozoic** tectonics and magmatism of East Asia, 1983. (Ed. Yu.G. Leonov). Moscow: Nauka, 232 p. (in Russian).

11. **Меланхолина Е.Н., Руженцев С.В., Моссаковский А.А.** Развитие глубинных ап- и даунвеллингов и геодинамика Земли. *Фундаментальные проблемы общей тектоники*. Москва: Науч. мир, 2001. С. 315-342.

**Melancholina E.N., Ruzhentsev S.V., Mossakovskii A.A.**, 2001. The development of upwelling and downwelling and geodynamics of the Earth. *Fundamental problems of global tectonics*. Moscow: Nauchnyy Mir, p. 315-342 (in Russian).

12. **Нагибина М.С.** Геодинамические условия образования и эволюции магматических формаций. *Сов. геология*. 1988. № 7. С. 4-7.
- Nagibina M.S.**, 1988. Geodynamic conditions of formation and evolution of magmatic formations. *Sovietская Геология*, № 7, p. 4-7 (in Russian).
13. **Нагибина М.С., Хаун В.Е., Яншин А.Л.** Типы структур тектоно-магматической активизации и закономерности их развития. *Закономерности размещения полезных ископаемых*. Москва: Наука, 1975. Т. 11. С. 41-55.
- Nagibina M.S., Hain V.E., Yanshin A.L.**, 1975. The types of structures of tectonomagmatic activation and regularities of their development. *Locations of mineral resources*. Moscow: Nauka, vol. 11, p. 41-55 (in Russian).
14. **Обуэн Ж.** Геосинклинали. Москва: Мир, 1967. 302 с.
- Obuen J.**, 1967. Geosynclines. Moscow: Mir, 302 p. (in Russian).
15. **Перчук Л.Л.** Глубинные флюидные потоки и рождение гранита. *Соросовский Образовательный Журнал*. 1997. № 6. С. 56-63.
- Perchuk L.L.**, 1977. Deep fluid flows and the birth of granite. *Sorosovskiy Obrazovatelnyy Zhurnal*, № 6, p. 56-63 (in Russian).
16. **Половинкина Ю.Ир.** Проблема образования гранита. *Материалы ВСЕГЕИ. Петрогр. сб.* 1957. № 2. Вып. 21. Петрография. С. 123-152.
- Polovinkina Yu.E.**, 1957. The problem of formation of granite. *Proc. of the Soviet Union Geol. Institute. Petrographic collection*, № 2, vol. 21, Petrography, p. 123-152 (in Russian).
17. **Пуцаровский Ю.М.** Сейсмотомография, тектоника и глубинная геодинамика. *Докл. РАН*. 1998. Т. 360, № 4. С. 518-522.
- Pushcharovsky Yu. M.**, 1998. Seismic tomography, tectonics and mantle geodynamics. *Doklady RAN*, vol. 360, № 4, p. 518-522 (in Russian).
18. **Пуцаровский Ю.М.** Тектоника и геодинамика мантии Земли. *Фундаментальные проблемы общей тектоники*. Москва: Науч. мир, 2001. С. 10-33.
- Pushcharovsky Yu.M.**, 2001. Tectonics and geodynamics of the Earth's mantle. *Fundamental problems of global tectonics*. Moscow: Nauchnyy Mir, p. 10-33 (in Russian).
19. **Соболев Р.Н.** О происхождении гранитов. *Вестн. МГУ. Сер. 4. Геология*. 1992. № 1. С. 3-22.
- Sobolev R.N.**, 1992. On the origin of granites. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Ser. 4. Geologiya*, № 1, p. 3-22 (in Russian).
20. **Структурная геология и тектоника плит:** в 3 т. Т. 3: Сейферт К. (ред.). Москва: Мир, 1991. 350 с.
- Structural geology and plate tectonics:** In 3 volumes. Vol. 3. (Ed. K. Seyfert). Moscow: Mir, 350 p. (in Russian).
21. **Хаун В.Е.** Основные проблемы современной геологии. Москва: Науч. мир, 2003. 348 с.
- Hain V.E.**, 2003. The main problems of modern geology. Moscow: Nauchnyy Mir, 348 p. (in Russian).
22. **Хаун В.Е.** Региональная геотектоника. Северная и Южная Америка, Антарктида и Африка. Москва: Недра, 1971. 548 с.
- Hain V.E.**, 1971. Regional Geotectonics. North and South America, Antarctica and Africa. Moscow: Nedra, 548 p. (in Russian).
23. **Шевчук В.В.** Мезозойская тектоника и магматизм Восточного Забайкалья – фрагмента Восточно-Азиатского орогенного пояса. *Тектоника Азии*. Москва: ГЕОС, 1997. С. 249-252.
- Shevchuk V.V.**, 1997. Mesozoic tectonics and magmatism of East Transbaikal – a fragment of the East Asian Orogenic Belt. *Tectonics of Asia*. Moscow: GEOS, p. 249-252 (in Russian).
24. **Шевчук В.В.** О происхождении порфировидных и рапакививидных гранитов. *Минерал. сб.* 1990. Вып. 2, № 44. С. 104-111.
- Shevchuk V.V.**, 1990. The origin of porphyry and rapakivi granites. *Mineralogicheskii sbornik*, vol. 2, № 44, p. 104-111 (in Russian).
25. **Шевчук В.В.** Соотношение метамагматического и палингенно-метасоматического гранитообразования в областях тектоно-магматической активизации. *Материалы VI Междунар. конф. «Новые идеи в науках о Земле»*. Москва: Леон XXI, 2003. С. 142-145.
- Shevchuk V.V.**, 2003. Interrelation of metamagmatic and palingenic-metasomatic granite formation in the areas of tectonic and magmatic activation. *Proc. of VI Intern. conference «New Ideas in Earth Sciences»*. Moscow: Leon XXI, p. 142-145 (in Russian).
26. **Шевчук В.В.** Эволюция полей напряжения при формировании фанерозойских гранито-гнейсовых куполов. *Геофиз. журн.* 2002. Т. 24, № 6. С. 220-229.
- Shevchuk V.V.**, 2002. Evolution of stress fields in the formation of Phanerozoic granite-gneiss domes. *Geofizicheskiy zhurnal*, vol. 24, № 6, p. 220-229 (in Russian).
27. **Шевчук В.В., Лихачев В.В.** Математическая модель поля напряжений, вызванного тепловой аномалией в упругой среде. *Геофиз. журн.* 1996. Т. 18, № 6, С. 74-80.
- Shevchuk V.V., Likhachev V.V.**, 1996. Mathematical model of the stress field caused by the thermal anomaly in an elastic medium. *Geofizicheskiy zhurnal*, vol. 18, № 6, p. 74-80 (in Russian).

28. **Эпельбаум М.Б.** Экспериментальное изучение флюидно-магматического взаимодействия. *Проблемы физико-химической петрологии*. Момква: Наука, 1979. Т. I. С. 270-285.
- Epelbaum M.B.**, 1979. Experimental study of fluid-magmatic interaction. *Problems of chemical physics and petrology*. Moscow: Nauka, vol. I, p. 270-285 (in Russian).
29. **Anderson, D.L.** Hotspots, polar wander. Mesozoic convection and the geoid. *Nature*. 1982. Vol. 297. P. 391-393.
- Anderson D.L.**, 1982. Hotspots, polar wander. Mesozoic convection and the geoid. *Nature*, vol. 297, p. 391-393 (in English).
30. **Anderson D.L., Natland J.H.** A brief history of the plume hypothesis and its competitors: concept and controversy. *Foulger, G.R., Natland, J.H., Presnall, D.C., Anderson, D.L. (Eds.), Plates, Plumes, and Paradigms. GSA Special Paper. Geological Society of America*. Boulder, 2005. P. 119-145.
- Anderson, D.L., Natland, J.H.**, 2005. A brief history of the plume hypothesis and its competitors: concept and controversy. *Foulger, G.R., Natland, J.H., Presnall, D.C., Anderson, D.L. (Eds.), Plates, Plumes, and Paradigms. GSA Special Paper. Geological Society of America*. Boulder, p. 119-145 (in English).
31. **Atherton M. P.** Granite magmatism. *J. Geol. Soc. Lond.* 1994. Vol. 150. P. 1009-1023.
- Atherton M. P.**, 1994. Granite magmatism. *J. Geol. Soc. Lond.*, vol. 150, p. 1009-1023 (in English).
32. **Barbarin B.A** A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*. 1999. Vol. 46, № 3. P. 605-626.
- Barbarin B.**, 1999. A review of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments. *Lithos*, vol. 46, № 3, p. 605-626 (in English).
33. **Bull A., McNamara A., Ritsema J.** Synthetic tomography of plume clusters and thermochemical piles. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2009. Vol. 278. P. 152-162.
- Bull A., McNamara A., Ritsema J.**, 2009. Synthetic tomography of plume clusters and thermochemical piles. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 278, p. 152-162 (in English).
34. **Burke, K., Steinberger, B., Torsvik, T.H., Smet-hurst, M.A.** Plume generation zones at the margins of large low shear velocity provinces on the core-mantle boundary. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2008. Vol. 265, № 1-2. P. 49-60.
- Burke, K., Steinberger, B., Torsvik, T.H., Smet-hurst, M.A.**, 2008. Plume generation zones at the margins of large low shear velocity provinces on the core-mantle boundary. *Earth Planet. Sci. Lett.*, vol. 265, № 1-2, p. 49-60 (in English).
35. **Chappell B.W., White A.J.R.** Two contrasting granite types. *Pacif. Geol.* 1974. Vol. 8. P. 173-174.
- Chappell B.W., White A.J.R.**, 1974. Two contrasting granite types. *Pacif. Geol.*, vol. 8, p. 173-174 (in English).
36. **Campbell, I.H., Kerr A.C.** The great plume debate: testing the plume theory. *Chemical Geology*. Vol. 241. № 3-4. P. 149-152.
- Campbell, I.H., Kerr, A.C.**, 2007. The great plume debate: testing the plume theory. *Chemical Geology*, vol. 241, № 3-4, p. 149-152 (in English).
37. **Davies G.F.** A case for mantle plumes. *Chinese Science Bulletin*. 2005. Vol. 50, № 15. P. 1541-1554.
- Davies G.F.**, 2005. A case for mantle plumes. *Chinese Science Bulletin*, vol. 50, № 15, p. 1541-1554 (in English).
38. **Davies G.F., Richards M.A.** Mantle convection. *J. Geology*. 1992. Vol. 100. P. 151-206.
- Davies G.F., Richards M.A.**, 1992. Mantle convection. *J. Geology*, vol. 100, p. 151-206 (in English).
39. **Dziewonski, A.M.** Mapping the lower mantle – determination of lateral heterogeneity in p-velocity up to degree and order-6. *J. Geophys. Res.* 1984. Vol. 89 (NB7). P. 5929-5952.
- Dziewonski, A.M.**, 1984. Mapping the lower mantle – determination of lateral heterogeneity in p-velocity up to degree and order-6. *J. Geophys. Res.*, vol. 89 (NB7), p. 5929-5952 (in English).
40. **Hill, R.I., Campbell, I.H., Davies, G.F., Griffiths, R.W.** Mantle plumes and continental tectonics. *Science*. 1992. Vol. 256 (5054). P. 186-193.
- Hill, R.I., Campbell, I.H., Davies, G.F., Griffiths, R.W.**, 1992. Mantle plumes and continental tectonics. *Science*, vol. 256 (5054), p. 186-193 (in English).
41. **Jellinek, A.M., Manga, M.** Links between long-lived hot spots, mantle plumes, D, and plate tectonics. *Rev. of Geophys.* 2004. Vol. 42 (3). P. 1-35.
- Jellinek, A.M., Manga, M.**, 2004. Links between long-lived hot spots, mantle plumes, D, and plate tectonics. *Rev. of Geophys.*, vol 42 (3), p. 1-35 (in English).
42. **Li Z.-X., Zhong S.** Supercontinent – Superplume coupling, true polar wander and plume mobility: Plate dominance in whole-mantle tectonics. *Phys. of the Earth and Planet. Inter.* 2009. Vol. 176. P. 143-156.
- Li Z.-X., Zhong S.**, 2009. Supercontinent – Superplume coupling, true polar wander and plume mobility: Plate dominance in whole-mantle tectonics. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, vol. 176, p. 143-156 (in English).
43. **Lister J.R., Buffett B.A.** Stratification of the outer core at the core - mantle boundary. *Phys. Earth Planet. Inter.* 1998. Vol. 105. № 1-2. P. 5-19.
- Lister J.R., Buffett B.A.**, 1998. Stratification of the outer core at the core - mantle boundary. *Phys. Earth Planet. Inter.*, vol. 105, № 1-2, p. 5-19 (in English).
44. **McNamara, A.K., Zhong, S.J.** Thermochemical structures beneath Africa and the Pacific Ocean. *Nature*. 2005. Vol. 437 (7062). P. 1136-1139.

- McNamara, A.K., Zhong, S.J.**, 2005. Thermochemical structures beneath Africa and the Pacific Ocean. *Nature*, vol. 437 (7062), p. 1136–1139 (in English).
45. **Ritsema, H.J., van Heijst, J.H., Woodhouse, J.H.** Complex shear velocity structure beneath Africa and Iceland. *Science*. 1999. Vol. 286. P. 1925–1928.
- Ritsema, H.J., van Heijst, J.H., Woodhouse, J.H.**, 1999. Complex shear velocity structure beneath Africa and Iceland. *Science*, vol. 286, p. 1925–1928 (in English).
46. **Rogers J.W., Greenberg J.K.** Late-orogenic, post-orogenic and anorogenic granites: distinction by major-element and trace-element chemistry and possible origins. *J. Geol.* 1990. Vol. 98, № 3. P. 291-309.
- Rogers J.W., Greenberg J.K.**, 1990. Late-orogenic, post-orogenic and anorogenic granites: distinction by major-element and trace-element chemistry and possible origins. *J. Geol.*, vol. 98, № 3, p. 291-309 (in English).
47. **Romanowicz, B.** Using seismic waves to image Earth's internal structure. *Nature*. 2008. Vol. 451 (7176). P. 266–268.
- Romanowicz, B.**, 2008. Using seismic waves to image Earth's internal structure. *Nature*, vol. 451 (7176), p. 266–268 (in English).
48. **Su, W.J., Dziewonski, A.M.** Simultaneous inversion for 3-D variations in shear and bulk velocity in the mantle. *Phys. Earth and Planet. Inter.* 1997. Vol. 100, № 1–4. P. 135–156.
- Su, W.J., Dziewonski, A.M.**, 1997. Simultaneous inversion for 3-D variations in shear and bulk velocity in the mantle. *Phys. Earth and Planet. Inter.*, vol. 100, № 1–4, p. 135-156 (in English).
49. **Torsvik, T.H., Smethurst, M.A., Burke, K., Steinberger, B.** Large igneous provinces generated from the margins of the large low-velocity provinces in the deep mantle. *Geophys. J. Intern.* 2006. Vol. 167 (3). P. 1447–1460.
- Torsvik, T.H., Smethurst, M.A., Burke, K., Steinberger, B.**, 2006. Large igneous provinces generated from the margins of the large low-velocity provinces in the deep mantle. *Geophys. J. Intern.*, vol. 167 (3), p. 1447-1460 (in English).
50. **Van der Hilst, R.D., Widiyantoro, S., Engdahl, E.R.** Evidence for deep mantle circulation from global tomography. *Nature (London)*. 1997. Vol. 386. P. 578–584.
- Van der Hilst, R.D., Widiyantoro, S., Engdahl, E.R.**, 1997. Evidence for deep mantle circulation from global tomography. *Nature (London)*, vol. 386 (6625), p. 578-584 (in English).
51. **Wang, Y., Wen, L.X.** Mapping the geometry and geographic distribution of a very low velocity province at the base of the Earth's mantle. *J. Geophys. Res.* 2004. Vol. 109. P. 1-18.
- Wang, Y., Wen, L.X.**, 2004. Mapping the geometry and geographic distribution of a very low velocity province at the base of the Earth's mantle. *J. Geophys. Res.*, vol. 109, p. 1-18 (in English).
52. **Whitney J.A.** The origin of granite. The role and source of water in the evolution of granite magmas. *Bull. Geol. Soc. Amer.* 1988. Vol. 100, № 12. P. 1886-1897.
- Whitney J.A.** The origin of granite. The role and source of water in the evolution of granite magmas // *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 1988, vol. 100, № 12, p. 1886-1897 (in English).
53. **Yoshida S., Sumita I., Kumazawa M.** Growth model of the inner core coupled with the outer core dynamics and the resulting elastic anisotropy. *J. Geophys. Res.* 1996. Vol. 101, № B12. P. 28085-28103.
- Yoshida S., Sumita I., Kumazawa M.** 1996. Growth model of the inner core coupled with the outer core dynamics and the resulting elastic anisotropy. *J. Geophys. Res.*, vol. 101, № B12, p. 28085–28103 (in English).

Стаття надійшла  
05.02.2016